

# PLATAFORMA DIGITAL PARA ENSAIO E MONITORAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO

**Celso Becker Tischer, Maurício de Campos, Fabiano Salvadori**  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI  
Grupo de Automação Industrial e Controle – GAIC

[celso.tischer@unijui.edu.br](mailto:celso.tischer@unijui.edu.br), [campos@unijui.edu.br](mailto:campos@unijui.edu.br), [fsalvadori@unijui.edu.br](mailto:fsalvadori@unijui.edu.br)

**Resumo.** *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema digital para ensaio e monitoramento de motores de indução. O sistema é baseado numa estrutura composta por um módulo conversor estático de potência (retificador/inversor), um microcomputador (compatível IBM/PC) equipado com placa de aquisição de dados dedicada e condicionamento de sinal. Com a implementação do sistema será possível a utilização e validação de estratégias de controle já estudadas, por exemplo: Vetorial - DTC (Direct Torque Control), IFOC (Indirect Field Oriented Control) e DFOC (Direct Field Oriented Control); e, Escalar - V/Hz.*

**Palavras Chaves:** *Motor de Indução, Controle Digital, Sistema de Acionamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

As engenharias sofreram grande evolução nos últimos anos e parte desta evolução corresponde à área de Controle e a Automação (C&A).

O estudo e implementação de estratégias de controle para motores de indução trifásicos são de fundamental importância, principalmente em aplicações industriais onde se necessita ter o controle de conjugado, velocidade e posição [1].

Salvadori *et. al.*[2], afirma que os fatores mais importantes que influenciaram o desenvolvimento dos acionamentos com motores de indução foram: o desenvolvimento de estratégias de controle, principalmente as estratégias de controle vetorial; os avanços na eletrônica de potência (uso de conversores

estáticos de potência), com o surgimento das chaves semicondutoras (MOSFET, IGBT, e GTO); e o desenvolvimento na microeletrônica, com o surgimento de rápidos processadores, microcontroladores e processadores digitais de sinal.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema digital para estudo de máquinas de indução, bem como ensaio de estratégias de controle.

## 2. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução é o motor elétrico mais utilizado e difundido em processos industriais. Estima-se que 80% dos motores empregados na indústria e em outros setores sejam de motores de indução, podendo ser trifásicos ou monofásicos, os quais consomem aproximadamente de 60% da energia elétrica consumida na indústria [3].

Os motores de corrente contínua (CC) exerciam forte predomínio em sua utilização, por possuir uma ampla faixa de controle de velocidade, torque e posição e com métodos de controle mais baratos que os acionamentos em corrente alternada (CA). No entanto os motores CA possuem algumas vantagens, são mais leves, robustos que os motores CC.

Com o desenvolvimento da eletrônica de potência, houve uma grande diminuição nos custos do acionamento CA. Consequentemente o motor CA passa a ter preferência em várias aplicações como o

controle de velocidade e sistemas de acionamento.

O sistema proposto conta com um motor de indução trifásico (MIT), produzido pela WEG, com potência de 1CV, rotor do tipo gaiola de esquilo, 4 pólos, 1730rpm, 380 V, 60Hz.

### 3. RETIFICADOR E INVERSOR

Para muitas aplicações é necessária uma tensão contínua e variável, seja para alimentar diretamente a carga, seja para servir de estágio intermediário em aplicações que requerem frequência diferente da rede de distribuição. Nestes casos é necessário o uso de um retificador controlado.

Um Inversor de tensão é um conversor estático destinado a controlar o fluxo de energia elétrica entre uma fonte de tensão e uma carga com corrente alternada, monofásica ou polifásica, conhecido por conversão de DC para CA. A tensão de saída pode ser fixa ou variável em uma frequência também fixa ou variável. Uma tensão de saída variável pode ser obtida variando-se a amplitude da tensão de entrada CC e mantendo-se o ganho do inversor constante [4].

No sistema desenvolvido é usado um módulo retificador tiristorizado produzido pela Semikron (SKKT 42B12E), controlado pelo módulo MP400T, que gera os pulsos para disparo dos tiristores.

Para geração da tensão alternada que alimenta o MIT é usado um inversor de três braços a três fios fabricado pela Semikron (SKM 40GDL123D), mostrado na Figura 1.



Figura 1. Retificador e inversor usados no projeto.

## 4. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E INSTRUMENTAÇÃO

Quando o acionamento exige rápidas respostas dinâmicas e um exato controle de velocidade ou conjugado, é necessário o controle em malha fechada quando a dinâmica desejada para a máquina assíncrona tem importância fundamental para o desempenho do sistema completo do qual ela faz parte [2].

O sistema de aquisição de dados e instrumentação é composto por uma placa de aquisição de dados dedicada (formada pelos circuitos: conversores A/Ds, circuitos timers, e PPI), programação, sensores de corrente e tensão, e sensor de posição.

### 4.1 Placa da Aquisição de Dados

A placa da Aquisição de Dados (Figura 2), é conectada ao barramento ISA. Possui um hardware contendo contador programável (PIT), que é responsável pela contagem dos intervalos de tempo correspondentes as larguras de pulso dos sinais PWM (*Pulse Width Modulation*). Também composto por seis conversores A/Ds (AD574A), fabricados pela *Analog Devices*<sup>®</sup>, responsável pela aquisição dos sinais de corrente e tensão e sistema de interface paralela (PPI) para aquisição de sinais digitais, que podem ser provenientes do sensor posição.



Figura 2. Placa de aquisição de dados.

### 4.2 Programação

A programação é realizada utilizando linguagem C/C++. O programa é estruturado de forma que primeiramente é

feita a inicialização das variáveis, em seguida faz a alocação de memória para posterior gravação das grandezas adquiridas, em seguida faz a configuração dos circuitos *timers* e interface paralela, logo após executa-se o laço de repetição com a rotina em tempo real, onde se deve realizar as tarefas de geração dos tempos para os contadores, e também a leitura das grandezas adquiridas do sistema.

### 4.3 Transdutores de Corrente e Tensão

Neste projeto são usados três transdutores de tensão e três transdutores de corrente, ambos da fabricados LEN, LV25P e LA25P respectivamente. O LV25P se caracteriza por poder medir tensões contínuas, alternadas ou pulsadas com amplitudes entre 10 e 500V, excelente precisão, grande linearidade, pequeno tempo de resposta, grande imunidade a interferências externas. Já o transdutor LA25P possui características parecidas com o LV25P, medindo correntes entre 0 e 25A, podendo ser configurado para medir correntes com picos menores (5, 6, 8, 12 A), aumentando sua resolução.

### 4.4 Sensor de Posição

Vieira *et. al.*[5], diz que nos sistemas com desempenho ótimo, além do conhecimento das grandezas primárias da máquina (correntes e tensões), é fundamental se ter o conhecimento da posição ou velocidade da máquina em tempo real. Podemos obter a velocidade através de um encoder de velocidade ou então utilizar ferramentas para estimação da mesma.

No sistema proposto faz-se o uso de um sensor de posição, neste caso, um encoder absoluto, o RA58. Este encoder é fabricado pela Hengstler<sup>®</sup> tem resolução de 14 Bits, tensão de alimentação de 5V, saída em código gray. A conversão do sinal gerado pelo encoder, em código gray para código binário é feita via software.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

O software para geração do sinal PWM é desenvolvido em linguagem C/C++, onde os

sinais de comando para o inversor são gerados em tempo real, na Figura 3 tem-se os pulsos gerados durante o acionamento do motor de indução, para três chaves do inversor.



Figura 3. Pulsos gerados pelo software para comando de três chaves do inversor.

Para teste com acionamento em malha aberta é implementada uma estratégia de controle escalar em malha aberta, V/f (Volts/Hertz). Nesta estratégia a tensão aplicada ao MIT aumenta com o aumento da frequência, desta forma tendo como resposta uma baixa corrente de partida, pois a frequência aumenta gradativamente com o tempo.

As Figura 4 e 5 apresentam as grandezas adquiridas pelo sistema. Estas são obtidas a partir da geração de uma tabela de pontos pelo software do sistema, e posterior plotagem no software Matlab<sup>®</sup>.

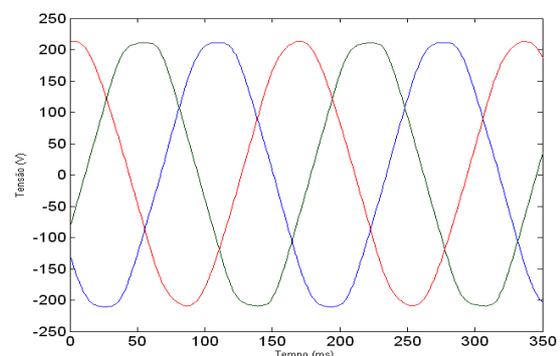


Figura 4. Tensões medidas pelo Sistema de Aquisição de Dados.

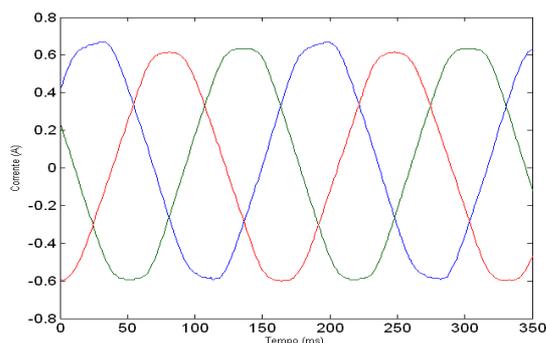


Figura 5. Correntes medidas pelo Sistema de Aquisição de Dados.

Na estratégia volts/hertz a velocidade tende a alterar-se com mudanças na carga ou variações na fonte de tensão. Portanto, no controle volts/hertz a máxima capacidade de fornecimento de conjugado e as respostas transitórias são limitadas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento e implementação deste sistema será possível o teste e a validação de estratégias de controle. Além de poder ser utilizado como ferramenta auxiliar no estudo de máquinas assíncronas e estratégias de controle.

### *Agradecimentos*

Agradecimentos a FAPERGS pelo apoio e patrocínio disponibilizado e ao GAIC – Grupo de Automação Industrial e Controle da Unijui.

## REFERÊNCIAS

- [1] F. SALVADORI, “Estratégias de Controle Desacoplado de Fluxo e Conjugado para Acionamentos com Máquinas Assíncronas”. Campina Grande. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFPB-PB. 1991.
- [2] F. SALVADORI, “Sistema de Acionamento Digital para Máquina Assíncrona Utilizando Estratégias de Controle Mono e Multivariáveis sem sensor de velocidade”. Campina Grande.

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - UFPB-PB. 2000.

- [3] A. G. P. GARCIA, “Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria”. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ-RJ. 2003.
- [4] M. H. RASHID, “Power Electronics”. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- [5] R. P. VIEIRA, “Projeto e Implementação de Sistema para Ensaio e Monitoramento de Motores de Indução”. Ijuí. Monografia (Faculdade em Engenharia Elétrica) - UNIJUÍ-RS. 2006.